

DOCKET NO.: 205275US2PCT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Matsuho MIYASAKA, et al.

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HEREWITH

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/JP99/05110

INTERNATIONAL FILING DATE: 20 September 1999

FOR: METHOD OF ANALYZING CORROSION AND CORROSION PREVENTION

**REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION**Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicant claims as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NO.</u>	<u>DAY/MONTH/YEAR</u>
JAPAN	10/279191	30 September 1998

A certified copy of the corresponding Convention application(s) was submitted to the International Bureau in PCT Application No. **PCT/JP99/05110**. Receipt of the certified copy(s) by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

Respectfully submitted,
OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Marvin J. Spivak
Attorney of Record
Registration No. 24,618
Surinder Sachar
Registration No. 34,423



22850
(703) 413-3000
Fax No. (703) 413-2220
(OSMMN 1/97)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

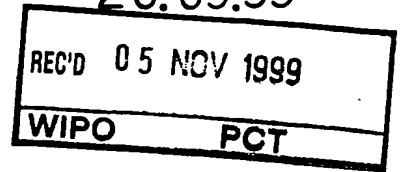
THIS PAGE BLANK (USPTO)

COPY EU

PCT/JP 99/05110

20.09.99

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1998年 9月30日

出 願 番 号

Application Number:

平成10年特許願第279191号

出 願 人

Applicant(s):

株式会社荏原製作所

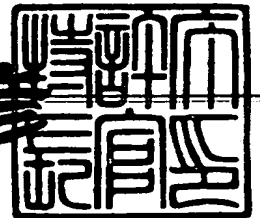
**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



1999年10月22日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特平11-3071767

【書類名】 特許願

【整理番号】 EB1749P

【提出日】 平成10年 9月30日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G21C 17/02

【発明の名称】 腐食・防食解析方法

【請求項の数】 2

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株式会社 荏原
 総合研究所内

 【氏名】 宮坂 松甫

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社 荏原製作
 所内

 【氏名】 高山 博和

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上丸子八幡町786 メゾン吉棟
 202

 【氏名】 天谷 賢治

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市旭区若葉台2-4-302

 【氏名】 青木 繁

【特許出願人】

 【識別番号】 000000239

 【氏名又は名称】 株式会社 荏原製作所

 【代表者】 前田 滋

【代理人】

 【識別番号】 100091498

 【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 勇

【代理人】

【識別番号】 100092406

【弁理士】

【氏名又は名称】 堀田 信太郎

【代理人】

【識別番号】 100102967

【弁理士】

【氏名又は名称】 大畑 進

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 026996

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9112447

【包括委任状番号】 9501133

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 腐食・防食解析方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 2次元（開領域および閉領域）、3次元（開領域および閉領域）および軸対称（開領域および閉領域）としてモデル化される6種類の領域の内、同一あるいは異なる領域が二つ連続して存在する場合の腐食・防食解析方法において、

全体を各領域に分割してそれぞれのモデル化（2次元・3次元および軸対称）に応じた要素分割を行い、それらの内の一領域を注目領域、他を非注目領域として、

二つの領域の分割面は二つの領域に対して共通であるが、分割面上の位置が一致する各要素上においては、電流密度および電位は互いに等価であり、これら要素上における電流密度と電位の関係は未知であり、前記非注目領域に対応する離散化した境界積分方程式を変形することによって、未知である分割面上の電流密度と電位の関係を、分割面以外の非注目領域の要素上の既知である電流密度と電位の関係を集約することによって表わし、このようにして得られた分割面上の電流密度と電位の関係を分割面上の境界条件として注目領域の境界要素解析を行い、注目領域全体の電位及び電流密度分布を求め、次に、ここで得られた分割面上の電位又は電流密度を境界条件として非注目領域の境界要素解析を再び行うことによって領域全体の解析を連動して行うことを特徴とする腐食・防食解析方法。

【請求項 2】 一つの前記注目領域に対して、二つ以上の非注目領域が連続して存在する場合に、請求項 1 に記載の方法で両分割面に対して電流密度と電位の関係を求め、これらを境界条件として注目領域の解析を行い、注目領域全体の電位及び電流密度分布を求め、次に、ここで得られた分割面上の電位又は電流密度を境界条件として非注目領域の境界要素解析を再び行うことによって領域全体の解析を連動して行うことを特徴とする腐食・防食解析方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、腐食・防食の予測を行うためのコンピューターを用いた解析方法に関するものである。特に、金属の腐食・防食問題の内、異種金属接触腐食（ガルバニック腐食とも呼ぶ）および通気差腐食のようなマクロセル腐食（カソード防食）の問題に対して好適な解析方法を提供するものである。また、金属の腐食・防食問題以外にも、メッキ、電池、電解槽など、マクロ的なアノードとカソードが電解質を介して存在し、電位場を形成する系に対しても同様に適用可能である。

【0002】

【従来の技術】

海水のような高い電気伝導度を持つ溶液中では、異種金属材料を混用することによって生じる異種金属接触腐食、あるいは流速分布の不均一性に起因する流速差腐食（流速差に起因する通気差腐食）などのマクロセル腐食の被害を受けやすい。従って、これらの腐食を事前に正確に予測し、対策を施すことが望まれている。一方、マクロセルにおけるカソード側の腐食抑制現象を積極的に利用した「カソード防食」は、最も基本的な防食方法として広く採用されており、陽極の材料および設置位置、防食対象機器の形状、材料構成および溶液条件（電気伝導度、流速など）に応じて、防食範囲および犠牲陽極の消耗速度などを予測することが要求されている。

【0003】

マクロセルの予測に対して実験的なアプローチに限界がある理由は、マクロセルの挙動に対して場の形状の影響が大きいからである。つまり、例えば、異種金属接触腐食に関する実験を行い、面積比、材料の組み合わせ、溶液の電気伝導度など各種因子の影響を詳細に調べたとしても、その結果は、その実験における溶液の占める領域の3次元的形状にだけ当てはまるものだからである。実際の機器および構造物では形状が複雑であるため、マクロセルにおける液間抵抗を正確に見積もることができず、実験結果をそのまま適用することは困難となる。また、

防食対象機器の形状が変わることによりその形状を想定した実験を行うことは実際上不可能である。

【0004】

従って、実構造物でのマクロセル腐食およびカソード防食の予測は、多くの場合経験則に頼らざるを得なかったのが実情である。そこで、より正確で定量的な予測を行うため、多くの試みがなされてきた。まず、電位分布を支配するラプラス方程式を純数学的に解くことによって電位および電流密度分布を求める試みがなされた。しかし、これらの解析対象はいずれも平板、円筒などの比較的単純な系に限られている。電場問題を解析する手法として等角写像法および電導紙を用いた方法が古くから採用されているが、これらの方法はいずれも二次元場しか扱うことができない。

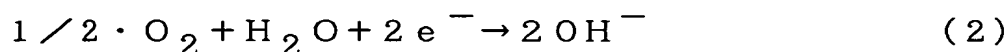
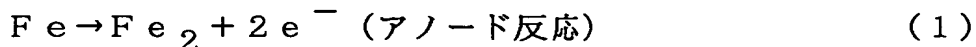
【0005】

一方、近年のコンピューター技術の発展に伴い、差分法、有限要素法および境界要素法を利用した数値解析を適用する試みが盛んに行われるようになった。差分法や有限要素法では物体全体を要素分割しなければならないため、計算時間が膨大になる欠点がある。これに対し、境界要素法は物体表面の要素分割だけしか必要としないため、要素分割と計算に要する時間を大幅に短縮することが可能である。電位および電流密度のような表面における物理量が重要となる腐食問題を解析するには境界要素法が最も適した方法であると考え、発明者らはマクロセル腐食およびカソード防食問題の予測のため、境界要素法を適用した解析技術の開発を行った。

【0006】

〔基礎方程式と境界条件〕

水溶液中における金属の腐食はアノード反応とカソード反応を対とする電気化学的な反応によって進行する。海水のような、溶存酸素を含む中性塩水溶液中での鉄の腐食を例にとると、反応は式(1)および(2)のように進行する。



【0007】

金属表面で、アノード反応が起こっている箇所をアノード、カソード反応が起こっている箇所をカソードと呼ぶ。海水中における鉄の腐食の場合では、通常アノードとカソードは微小で互いに混在しており、その位置も一定しない。従って

、腐食は多少の凹凸を伴いながらも全体にほぼ均一に進行する。ところが、材料、表面状態、環境などが均一でない場合にはアノードとカソードとが偏在し、特定の箇所（アノード部）に腐食が集中するようになる。前者はミクロセル腐食（但しセルは電池を意味する）、後者はマクロセル腐食と呼んで区別されるが、海水ポンプにおいてしばしば大きな被害をもたらすのは、主に異種金属接触腐食、通気差腐食などのマクロセル腐食である。一方、マクロセル腐食におけるカソード側はもっぱらカソード電流が流れるため腐食が抑制されるが、この腐食抑制現象を積極的に利用した防食法がカソード防食である。

【0008】

マクロセル腐食およびカソード防食のいずれかの系も、アノードおよびカソードが電解質を介して構成する電池と考えることができる。電解質内の電位（ ϕ ）は式（3）のラプラス方程式に支配される。

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (3)$$

図1のように、電解質が境界 Γ_1 、 Γ_2 、 Γ_{3a} および Γ_{3c} に囲まれているとする。ここで Γ_1 は電位 ϕ の値が ϕ_0 に固定された境界（電位一定の境界）、 Γ_2 は電流密度 q の値が q_0 に固定された境界（電流密度一定の境界）、 Γ_{3a} および Γ_{3c} はそれぞれアノードおよびカソードの表面である。

【0009】

各境界における境界条件は次式で与えられる。

$$\Gamma_1 \text{ 上: } \phi = \phi_0 \quad (4)$$

$$\Gamma_2 \text{ 上: } q \{ \equiv K \partial \phi / \partial n \} = q_0 \quad (5)$$

$$\Gamma_{3a} \text{ 上: } \phi = -f_a(q) \quad (6)$$

$$\Gamma_{3c} \text{ 上: } \phi = -f_c(q) \quad (7)$$

ここで、 κ は電解質の電気伝導度、 $\partial / \partial n$ は外向き法線方向の微分であり、 $f_a(q)$ および $f_c(q)$ はアノードおよびカソードの分極特性を表す非線形の関数で、実験によって求められる。式（3）を境界条件である式（4）～（7）のもとで解けば、表面近傍の電位および電流密度分布を求めることができる。

この電位 ϕ と我々が実際に測定する電極電位 E は、 $\phi = -E$ の関係がある。

【0010】

[境界要素法による解法]

境界要素法の通常の定式化に伴い、式(3)より境界積分方程式が導かれる。

【数1】

$$ck\phi = \int_{\Gamma} \phi^* q d\Gamma - \int_{\Gamma} \phi q^* d\Gamma \quad (8)$$

ここで、 ϕ^* は3次元ラプラス方程式の基本解であり、 $q^* = \kappa \partial \phi^* / \partial n$ である。 Γ は電解質を囲む境界 ($= \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_{3a} + \Gamma_{3c}$) を示す。また、 c は滑らかな境界では $c = 1/2$ 、角度 ω の角点では $c = \omega/2\pi$ である。

【0011】

この境界積分方程式を数値的に解くためには離散化を行う必要があり、境界を多くの要素に分割し、 ϕ と q をそれぞれの節点における離散的な値と内挿関数とにより近似すると次の連立代数方程式が導かれる。

【数2】

$$[A] \begin{Bmatrix} x_j \\ q_j \end{Bmatrix} = [B] \begin{Bmatrix} b_j \\ f_j(q_j) \end{Bmatrix} \quad (9)$$

ここで、 b_j ($j = 1, 2 \dots p$) は $\Gamma_1 + \Gamma_2$ 上の ϕ または q の既知の成分の値、 x_j ($j = 1, 2 \dots p$) は b_j に対応する未知量である。 $f_j(q_j)$ ($j = 1, 2 \dots s$) は分極特性を表す非線形の関数である。 p および s は境界 $\Gamma_1 + \Gamma_2$ および $\Gamma_{3a} + \Gamma_{3c}$ 上の要素数を示している。また、 $[A]$ および $[B]$ は境界 Γ の幾何学的形状によって決まるマトリックスである。この式は非線形であるため、これを解くためには繰り返し計算を必要とする。本発明者はニュートン・ラフソン法を採用している。

【0012】

[軸対象領域の解析法]

実際の機器の中には、パイプあるいはポンプ部品の一部のように、軸対称の領域を含むものが多く、これらの領域の解析をより簡便に行うことが望まれている。軸対称問題を解く方法として主に次の二つが考えられる。すなわち、(i) 軸対称問題に対する基本解を利用する方法、および (ii) 三次元問題に対する通常

の基本解を用い、離散化時に軸対称性を考慮して要素数を削減する方法である。軸対称条件を満足する基本解を利用すると、通常の基本解を利用する場合と比べて積分計算が複雑になる問題がある。そこで、本プログラムでは、離散化時に軸対称性を考慮して要素数を削減する方法を採用した。以下にこの手法について説明する。

【0013】

通常の三次元解析においては、式(8)の境界積分方程式を離散化するためには、すべての境界を要素分割する必要がある。ところが、軸対称性により ϕ および q は周方向に同一の値を持つので、式(8)は以下のように変形することができる。

【数3】

$$kc\phi = \int_{\Gamma_D} \left(q \int_0^{2\pi} r\phi^* d\theta - \phi \int_0^{2\pi} rq^* d\theta \right) d\Gamma \quad (10)$$

ここで、 Γ_D は一次元の線上の範囲を示す。式(10)からは Γ_D のみ離散化するだけで連立代数方程式を得ることができる。従って、このように軸対称性を利用すれば未知数の数を大幅に減らすことができ、さらに精度の向上も期待できる。

【0014】

〔領域分割法〕

簡単のために、図2に示すような2つの部分からなる領域を考える。内部境界面を Γ_B とすると、それぞれの領域において式(9)がなりたつので次式が得られる。

領域 I

【数4】

$$[A^I G^{IB}] \begin{Bmatrix} X^I \\ q^{IB} \end{Bmatrix} = [B^I H^{IB}] \begin{Bmatrix} b^I \\ \phi^{IB} \end{Bmatrix} \quad (11)$$

領域 II

【数5】

$$[A^{\text{II}} G^{\text{IIB}}] \begin{Bmatrix} X^{\text{II}} \\ q^{\text{IIB}} \end{Bmatrix} = [B^{\text{II}} H^{\text{IIB}}] \begin{Bmatrix} b^{\text{II}} \\ \phi^{\text{IIB}} \end{Bmatrix} \quad (12)$$

ここで、添え字 I、II はそれぞれ領域 I、II に関する量を表し、添え字 B は内部境界面 Γ_B に関する量を表す。 $\{X^M\}$ ($M = \text{I}, \text{II}$) は x_i および q_i の内、 Γ_B 以外の境界に関する量を成分とするベクトルであり、 $\{b^M\}$ ($M = \text{I}, \text{II}$) は X^M に対応する既知量（または分極曲線を表す関数）を成分とするベクトルである。

【0015】

ところで、内部境界では電位および電流密度に連続性があるので、次式が成り立つ。

$$\phi^{\text{IB}} = \phi^{\text{IIB}} \quad (13)$$

$$q^{\text{IB}} = -q^{\text{IIB}} \quad (14)$$

式 (11) および (12) において、右辺の $[H^{\text{MB}}]$ $\{\phi^{\text{MB}}\}$ ($M = \text{I}, \text{II}$) を左辺に移項し、式 (13) および (14) を代入すると次式が得られる。

【数6】

$$[A^{\text{I}} G^{\text{IB}} - H^{\text{IB}}] \begin{Bmatrix} X^{\text{I}} \\ q^{\text{IB}} \\ \phi^{\text{IB}} \end{Bmatrix} = [B^{\text{I}}] \{b^{\text{I}}\} \quad (15)$$

【数7】

$$[-G^{\text{IIB}} - H^{\text{IIB}} A^{\text{II}}] \begin{Bmatrix} q^{\text{IIB}} \\ \phi^{\text{IIB}} \\ X^{\text{II}} \end{Bmatrix} = [B^{\text{II}}] \{b^{\text{II}}\} \quad (16)$$

【0016】

これらをまとめると次式を得る。

【数 8】

$$\begin{bmatrix} A^I & G^{IB} & -H^{IB} & 0 \\ 0 & -G^{IB} & -H^{IB} & A^I \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X^I \\ q^{IB} \\ \phi^{IB} \\ X^I \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} B^I & 0 \\ 0 & B^I \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} b^I \\ b^I \end{Bmatrix} \quad (17)$$

この方程式は式 (9) と同様、非線形方程式を構成している。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】

上述したように、発明者らはこれまで、2次元、3次元および軸対称のそれぞれに対して、開領域（船舶外面のように無限遠方まで広がる電解質に囲まれた場合）および閉領域（ポンプ内面のように電解質が囲まれている場合）を解析する6種類のプログラムを開発し、実用的な腐食・防食問題の解決に当たってきた。

【0018】

ところで、実際の系では、2次元（開領域および閉領域）、3次元（開領域および閉領域）、および軸対称（開領域および閉領域）でモデル化できる6種類の領域の内、いくつかは連続して存在する場合がある。図3に具体的な事例を示す。これはステンレス鋼製の海水ポンプで、ポンプ内面の3箇所にZn犠牲陽極が円周状に配置され、ポンプ外面には角柱状のZn犠牲陽極が4本等配で置かれている。ポンプ内外面は海水を介して導通しており、ポンプ内面は外面に対して、ポンプ外面は内面に対してそれぞれ電気化学的に影響を及ぼすはずである。

【0019】

しかしながら、ポンプ外面を囲む海水は広い領域を占めていて、閉領域として扱うには要素分割のための境界が大きすぎるため、ポンプ内面と同じ3次元閉領域でモデル化し同時に解析することは事実上不可能である。そこで、ポンプ内面を3次元閉領域解析を行い、ポンプ外面は開領域解析を行うこととする。ガイドケーシング内面は7枚の螺旋形状のガイドベーンによって7つの流路に仕切られている。これらは互いに対称であるため、その内一つを取り出して3次元要素分割を行うこととする。また、ポンプ外面の角柱状の陽極は同じ面積の帯状の陽極がポンプ外面に取り付けられていると仮定して軸対称として扱い、開領域軸対称

モデルとして扱う。

【0020】

実際は前述のようにポンプ内外面は電気化学的に影響を及ぼし合っているため、それを考慮した解析が必要であるが、それぞれの領域を扱う解析プログラムが異なるため（ポンプ内面：3次元閉領域プログラム、ポンプ外面：軸対称開領域プログラム）、互いの影響を考慮した解析を行うことは従来不可能であった。上述したように、発明者らは領域分割法を開発しているが、この方法においては同一のモデル化による領域の解析しか行うことができなかった。

【0021】

本発明は、上述した事情に鑑みて為されたもので、2次元（開領域および閉領域）、3次元（開領域および閉領域）、および軸対称（開領域および閉領域）としてモデル化される領域の内、同一あるいは異なる領域が二つ以上連続して存在する場合の腐食・防食解析方法において、連続して存在する二つ以上の異なる領域を連動して解析する方法を提供することを目的とするものである。

【0022】

【課題を解決するための手段】

請求項1に記載の発明は、2次元（開領域および閉領域）、3次元（開領域および閉領域）および軸対称（開領域および閉領域）としてモデル化される6種類の領域の内、同一あるいは異なる領域が二つ連続して存在する場合の腐食・防食解析方法において、全体を各領域に分割してそれぞれのモデル化（2次元・3次元および軸対称）に応じた要素分割を行い、それらの内の一領域を注目領域、他を非注目領域として、二つの領域の分割面は二つの領域に対して共通であるが、分割面上の位置が一致する各要素上においては、電流密度および電位は互いに等価であり、これら要素上における電流密度と電位の関係は未知であり、前記非注目領域に対応する離散化した境界積分方程式を変形することによって、未知である分割面上の電流密度と電位の関係を、分割面以外の非注目領域の要素上の既知である電流密度と電位の関係を集約することによって表わし、このようにして得られた分割面上の電流密度と電位の関係を分割面上の境界条件として注目領域の境界要素解析を行い、注目領域全体の電位及び電流密度分布を求め、次に、ここ

で得られた分割面上の電位又は電流密度を境界条件として非注目領域の境界要素解析を再び行うことによって領域全体の解析を連動して行うことを特徴とする腐食・防食解析方法である。

【0023】

又、請求項2に記載の発明は、一つの前記注目領域に対して、二つ以上の非注目領域が連続して存在する場合に、請求項1に記載の方法で両分割面に対して電流密度と電位の関係を求め、これらを境界条件として注目領域の解析を行い、注目領域全体の電位及び電流密度分布を求め、次に、ここで得られた分割面上の電位又は電流密度を境界条件として非注目領域の境界要素解析を再び行うことによって領域全体の解析を連動して行うことを特徴とするものである。

【0024】

上述した本発明によれば、上記非注目領域に対応する離散化した境界積分方程式を未知である分割面上の電流密度と電位の関係を、分割面以外の非注目領域の要素上の既知である電流密度と電位の関係を集約することによって表わすことができる。これにより、非注目領域の分割面における電流密度と電位の関係を得ることができ、この分割面の関係から非注目領域を考慮した注目領域の解析が可能となる。従って、異種領域間を連続して比較的短時間で解析することが可能となる。

【0025】

一つの注目領域に対して、二つ以上の非注目領域が連続して存在する場合においても、同様に適用が可能である。

【0026】

【発明の実施の形態】

図4は、領域 Ω を連続して存在する2種の異種領域 Ω_1 、 Ω_2 に分割した状態を示す。それぞれの境界要素 Γ_1 、 Γ_2 は、それぞれ部分的に既知である。ここで、 Γ_B は分割面における境界要素であり、領域 Ω_1 から見ても領域 Ω_2 から見ても、電位および電流密度は共通である。

【0027】

被注目領域について通常の境界要素法を適用して得られる離散化した方程式は

次式となる。

【数 9】

$$[H_2] \begin{Bmatrix} \phi^2 \\ \phi_B^2 \end{Bmatrix} = [G_2] \begin{Bmatrix} q^2 \\ q_B^2 \end{Bmatrix} \quad (18)$$

ここで ϕ^2 , q^2 は境界 Γ_2 における電位および電流密度、 ϕ_B^2 , q_B^2 は領域 Ω_2 から見た境界 Γ_B における電位および電流密度である。[H_2] および [G_2] は通常の境界要素法を適用して得られる係数マトリックスである。領域 Ω_2 を囲む境界全体が n 個の要素で構成されているとして、その n 個の要素のうち境界 Γ_2 上にある要素が m 個、境界 Γ_B 上にある要素が 1 個であるとする。

【0028】

ここで、式 (18) について、未知の境界節点を左、既知の境界節点を右に移行し、 $Ax = b$ という形にまとめ、 Γ_2 上の境界条件を代入して整理すると次式となる。

ここで、 x は未知電位もしくは電流密度からなるベクトル、 b は既知の境界条件を代入した後の定数項ベクトル、 A は H 、 G マトリックスおよび分極曲線の傾きによって決まる係数マトリックスである。

【数 10】

$$\begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n+1} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nm+1} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1^2 \\ q_1^2 \\ \phi_B^2 \\ q_B^2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{Bmatrix} \quad (19)$$

ϕ_1^2, q_1^2 は境界 Γ_2 上の未知の電位および電流密度を表す。 x は $m+21$

行ベクトル、ベクトル b は n 行ベクトル、行列 A は

$$n \times (m+21)$$

の大きさの行列になる。

【0029】

この行列 A を次のように分割する。

但し、

【数 1 1】

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & \cdots & a_{1n+1} \\ \vdots & & & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & \cdots & a_{mn+1} \end{bmatrix}$$

【数 1 2】

$$\left[\begin{array}{c|c} A_{22} & A_{2I} \\ \hline A_{I2} & A_{II} \end{array} \right] \begin{Bmatrix} \phi_I^2 \\ q_I^2 \\ \phi_B^2 \\ q_B^2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} B_2 \\ B_I \end{Bmatrix} \quad (20)$$

【0030】

式(20)の ϕ_I^2 および q_I^2 を消去すると次式の ϕ_B^2 および q_B^2 の関係が得られる。

【数 1 3】

$$\{[A_{II}] - [A_{I2}][A_{22}^{-1}][A_{2I}]\} \begin{Bmatrix} \phi_B^2 \\ q_B^2 \end{Bmatrix} = \{B_I\} - [A_{I2}][A_{22}^{-1}]\{B_2\} \quad (21)$$

【0031】

式(21)は境界 Γ_B 上での境界節点量 ϕ_B^2 と q_B^2 の関係を表す式となる。この関係式は非注目領域 Ω_2 の影響を考慮にいたした ϕ_B^2 と q_B^2 の関係式であり、非注目領域の影響と等価な境界条件と考えられる。したがってこれを Γ_B の境界条件として与えれば、非注目領域の影響を考慮に入れて注目領域を解析することが可能になる。即ち、非注目領域の解析によって得られた Γ_B 上での電位あるいは電流密度を境界条件として注目領域の解析を行う。更に得られた分割面の電位あるいは電流密度に基づいて非注目領域の解析を行うことで、全領域の解析が完了する。

【0032】

【実施例】

解析対象は、図3に示すような口径200mm、長さ6000mmの立軸ポンプである。ポンプを図5に示すようにポンプ内部15、16および外部17に分

割し、内面は、部材が複雑に入り組み流路が螺旋状で複雑な 3 次元形状のガイドケーシング部 15 と、軸対称でモデル化が可能なコラムパイプ部 16 とに分割する。以上のように分割した 3 つの領域はそれぞれ、ポンプ外面は軸対称開領域、ガイドケーシング内面は 3 次元閉領域、コラムパイプ内面は軸対称閉領域として扱った。ガイドケーシング内面は 7 枚の螺旋形状のガイドベーンによって 7 つの流路に仕切られている。これらは互いに対称であるため、その内一つを取り出して 3 次元要素分割を行った。

【0033】

まず、ポンプ外面およびコラムパイプ内面とガイドケーシングとの境界面 Γa および Γb での電位 V_s 、電流密度 q の関係を求めるため、ポンプ外面およびコラムパイプ内面を非注目領域としてこれらに対して境界要素解析を行った。前者に対しては軸対称開領域解析、後者に対しては軸対称閉領域解析を行った。

【0034】

得られた電流密度と電位の関係を境界条件としてガイドケーシング部（注目領域）の 3 次元閉領域解析を行った。この解析によって得られた境界面 Γa および Γb での電流密度を境界条件として、再びポンプ外面およびコラムパイプ内面の解析を行い、全解析を終了した。解析結果の一例としてポンプ内外面の電位分布を図 6 に示す。

【0035】

図 6 (a) は、解析対象のポンプの形状（セグメント位置）を示すもので、横軸が半径方向位置を示し、縦軸が軸方向位置を示す。(b) はポンプ内部の電位分布を示し、(c) はポンプ外部の電位分布を示す。図 3 に示す犠牲陽極 11a, 11b, 11c の位置で、ポンプ内面の電位は著しく負となり、犠牲陽極以外の部分においても、 -0.4 [V] 程度であることが判る。これは、通常ステンレスポンプでは海水中においては、犠牲陽極が用いられない場合は、0 [V] 前後となるのに対して、犠牲陽極の配置による防食効果が著しいことが判る。この点は、ポンプ外面においても同様である。また、図中 Γa と Γb との間が、注目領域（ガイドケーシング部）であり、それ以外が非注目領域であるが、これらの分割面 Γa , Γb において、電位の分布が連続している。これは、上述した異種領域

間の連動解析によって始めて、異種領域間で連続した解析結果が得られることが判る。

【0036】

尚、この実施例は本発明の一実施形態を示すもので、本発明の趣旨を逸脱することなく種々の変形実施例が可能なことは勿論である。

【0037】

【発明の効果】

これまで、2次元（開領域および閉領域）、3次元（開領域および閉領域）および軸対称（開領域および閉領域）としてモデル化される6種類の別々の領域が、二つ以上連続して存在するような複雑な場の解析は、それぞれ別々に解析せざるを得なかったが、本発明による方法により全体を連動させて解析することが可能になった。

例えば、立軸ポンプのポンプ内外面は互いに電気化学的に影響し合っているにもかかわらず、これまでは別々に解析せざるを得ず、腐食・防食に関する正確な解析ができなかった。本発明による方法によりポンプ内外面を連動させて、比較的短時間で解析することが可能になった、また、従来はポンプ内面全体を3次元閉領域モデルで解析していたが、簡単な形状のコラムパイプ内面は軸対称モデルで解析することが可能になり、要素分割が著しく容易になった。

【0038】

また、3次元領域と軸対称領域が連続して存在する場合、軸対称でモデル化できる領域の判定を正確に行うことができなかったが、上述したように明確に区分けが可能であり、容易に境界領域における電位分布、電流密度分布の解析が可能となり、これにより有効な腐食・防食対策を行える。

【図面の簡単な説明】

【図1】

電位又は電流密度分布を求めるための境界条件を説明する図である。

【図2】

領域分割を説明する図である。

【図3】

解析対象の一例としての海水ポンプの構造を示す図である。

【図 4】

連続して存在する二つの異種領域を示す図である。

【図 5】

上記海水ポンプの領域分割を示す図である。

【図 6】

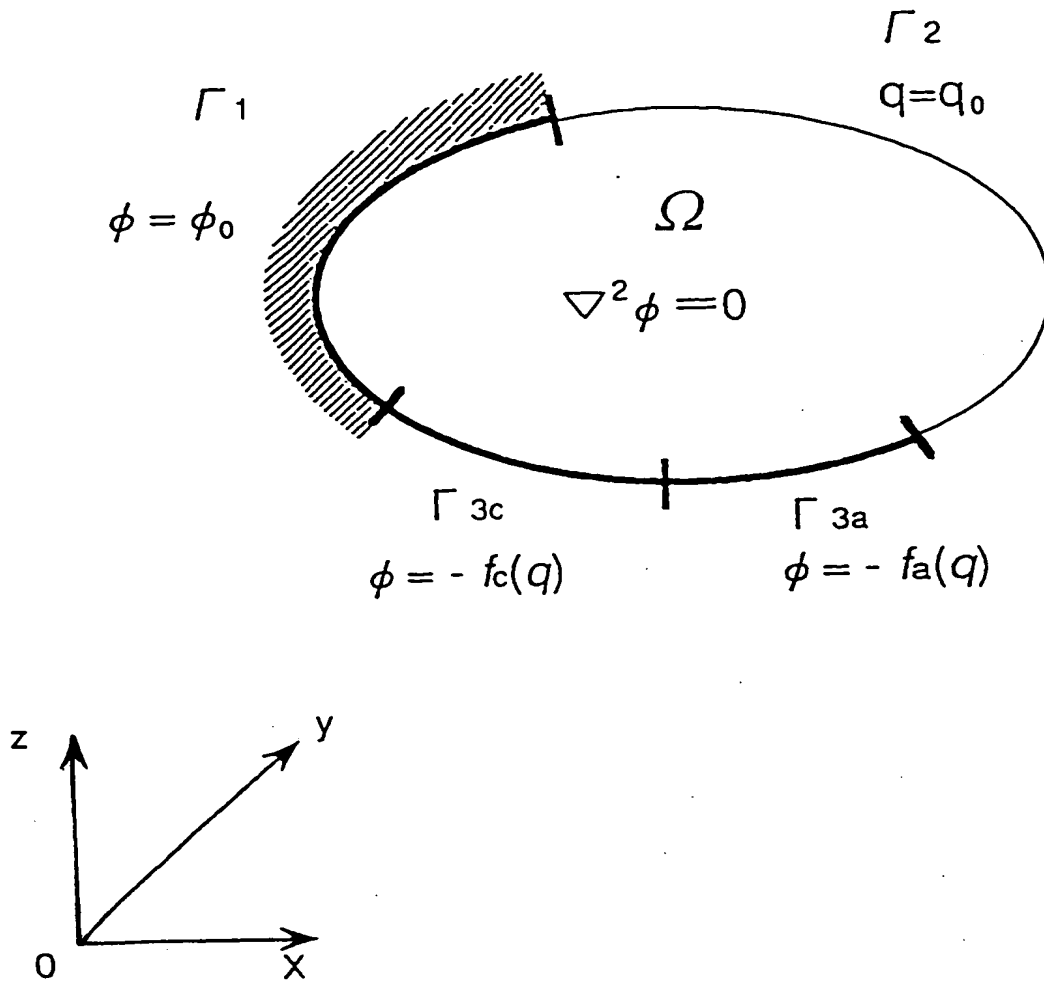
上記海水ポンプの解析結果を示す図であり、(a) はポンプの形状（セグメント位置）を示し、(b) はポンプ内面の電位分布を示し、(c) はポンプ外面の電位分布を示す。

【符号の説明】

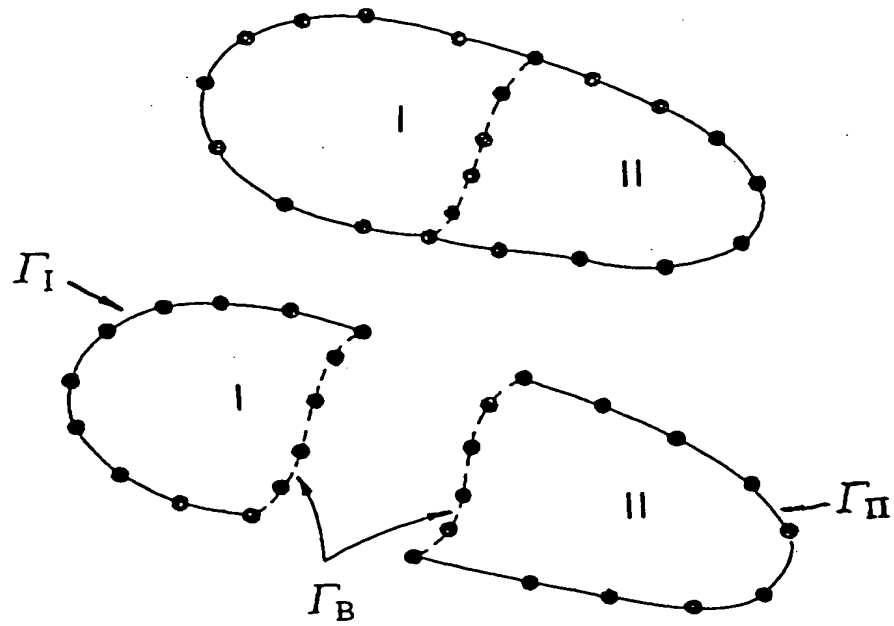
10	海水ポンプ
11a, 11b, 11c	ポンプ内面の犠牲陽極
12	ポンプ外面の犠牲陽極
15	ガイドケーシング部内面（3次元閉領域）
16	コラムパイプ内面（軸対称閉領域）
17	ポンプ外面（軸対称開領域）

【書類名】 図面

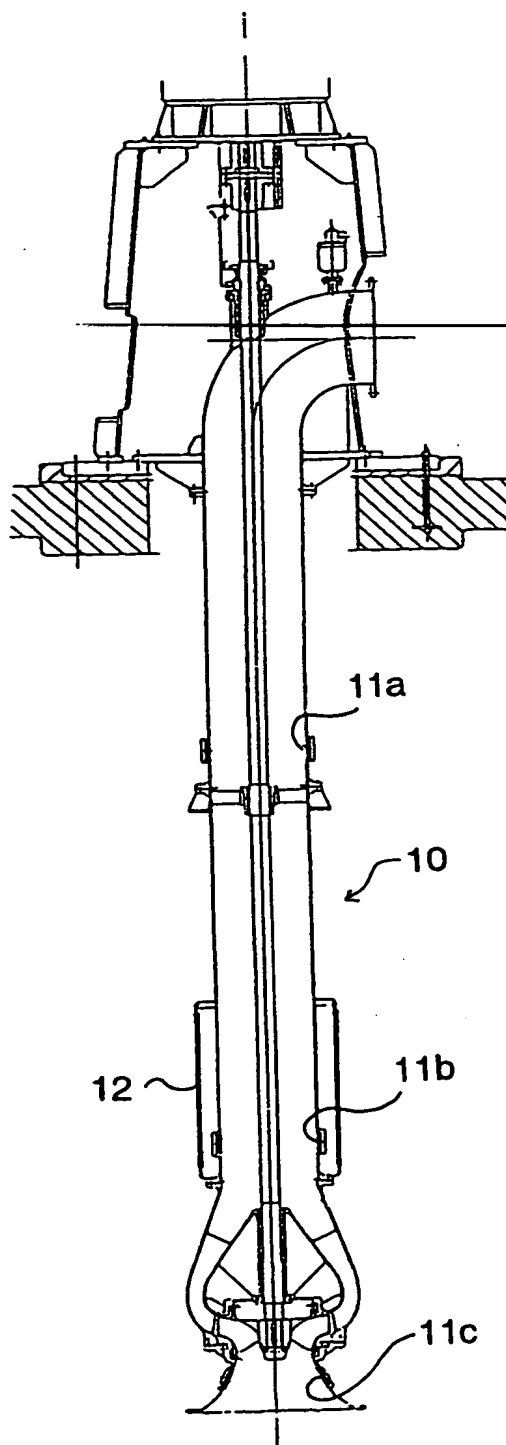
【図 1】



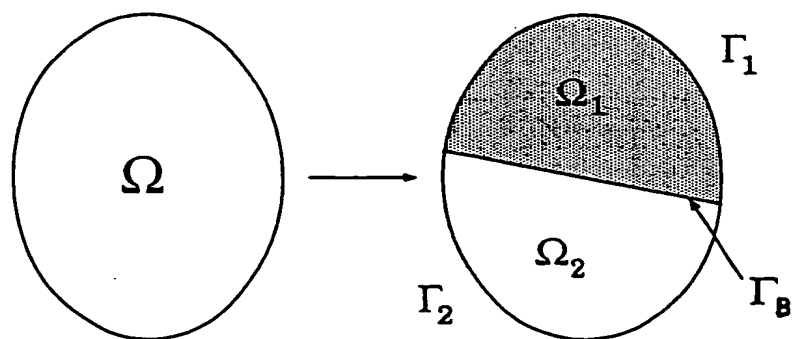
【図2】



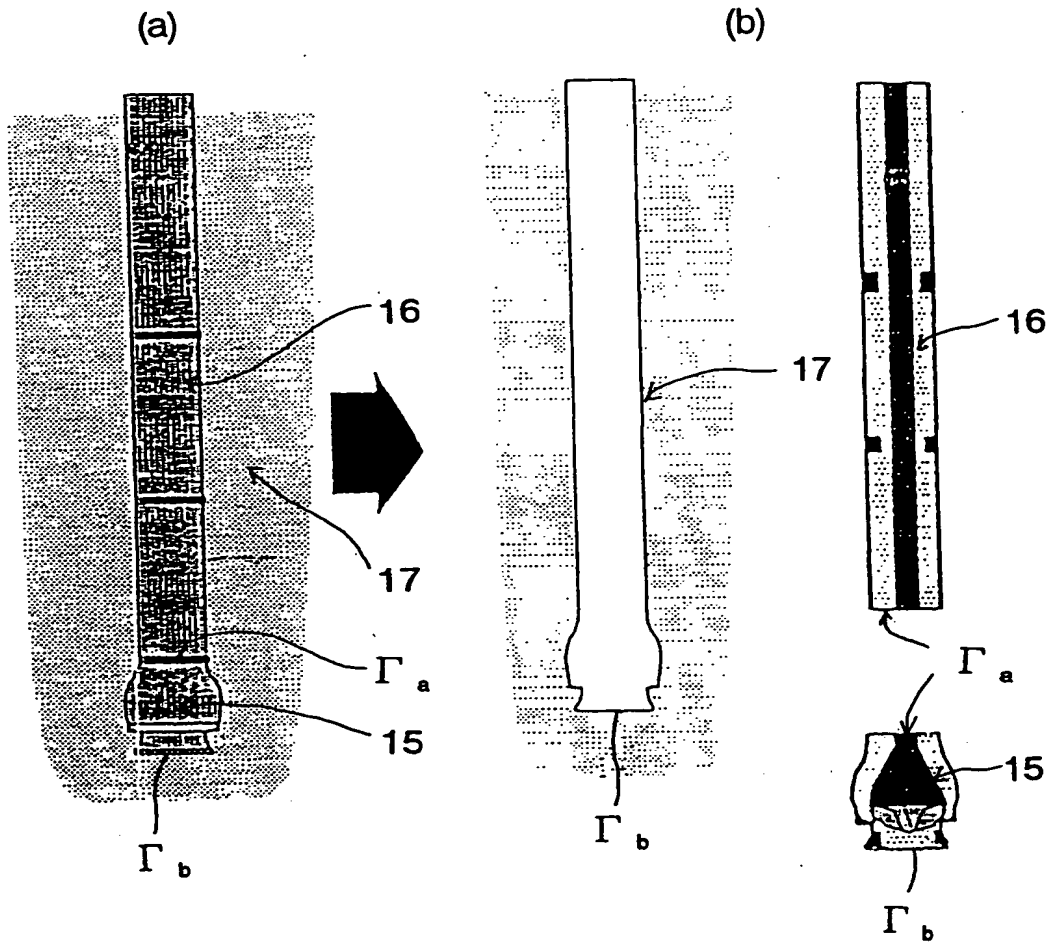
【図3】



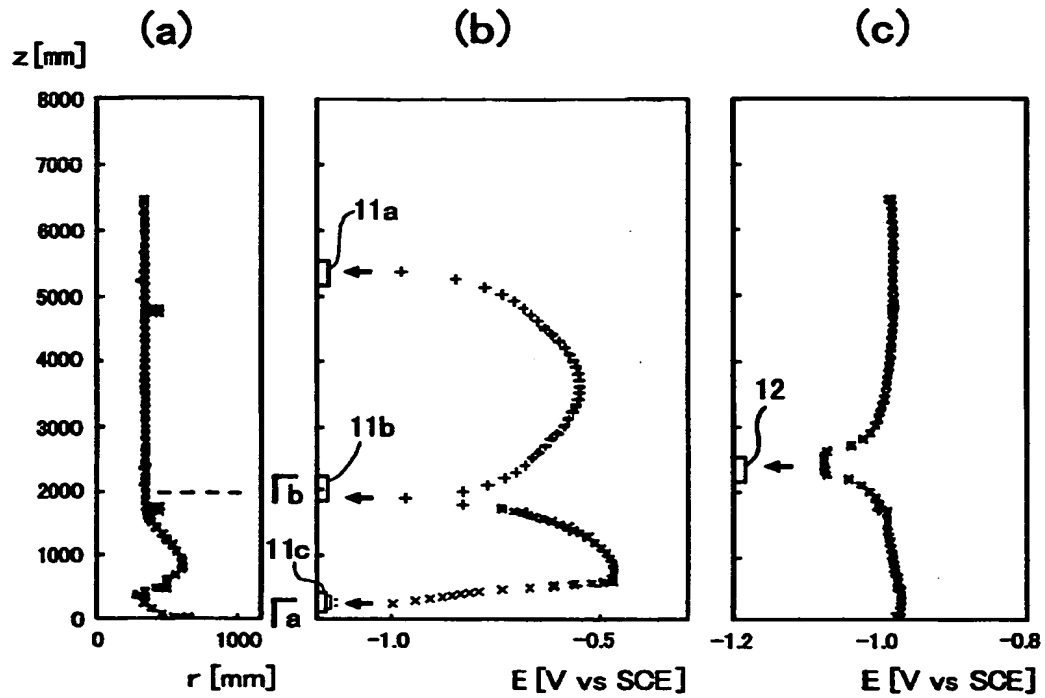
【図4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 2次元、3次元、および軸対称としてモデル化される領域の内、同一あるいは異なる領域が二つ以上連続して存在する場合の腐食・防食解析方法を提供する。

【解決手段】 全体を各領域に分割してそれぞれのモデル化（2次元・3次元および軸対称）に応じた要素分割を行い、それらの内の一領域を注目領域、他を非注目領域として、二つの領域の分割面は二つの領域に対して共通であるが、分割面上の位置が一致する各要素上においては、電流密度および電位は互いに等価であり、これら要素上における電流密度と電位の関係は未知であり、非注目領域に対応する離散化した境界積分方程式を変形することによって、未知である分割面上の電流密度と電位の関係を、分割面以外の非注目領域の要素上の既知である電流密度と電位の関係を集約することによって表わし、このようにして得られた分割面上の電流密度と電位の関係を分割面上の境界条件として注目領域の境界要素解析を行い、注目領域全体の電位及び電流密度分布を求め、次に、ここで得られた分割面上の電位又は電流密度を境界条件として非注目領域の境界要素解析を再び行うことによって領域全体の解析を連動して行う。

【選択図】 図5

【書類名】 職権訂正データ
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】 000000239
【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号
【氏名又は名称】 株式会社荏原製作所

【代理人】

申請人
【識別番号】 100091498
【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿 7-5-8 GOWA西新宿 4
階渡辺・堀田特許事務所
【氏名又は名称】 渡邊 勇

【代理人】

【識別番号】 100092406
【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿 7-5-8 GOWA西新宿 4
階渡辺・堀田特許事務所
【氏名又は名称】 堀田 信太郎

【代理人】

【識別番号】 100102967
【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿 7-5-8 GOWA西新宿 4
階渡辺・堀田特許事務所
【氏名又は名称】 大畑 進

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000000239]

1. 変更年月日 1990年 8月31日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都大田区羽田旭町11番1号
氏 名 株式会社荏原製作所

THIS PAGE BLANK (USPTO)